

УДК 556.16

Гопченко Є.Д., д.г.н., Одеський державний екологічний університет  
Лобода Н.С., д.г.н., Одеський державний екологічний університет  
Шахман І.О., аспірант, Херсонський гідрометеорологічний технікум  
Одеського державного екологічного університету

## **ОЦІНЮВАННЯ ПРИРОДНИХ ВОДНИХ РЕСУРСІВ НИЖНЬОГО ПОДНІПРОВ'Я ЗА МЕТЕРОЛОГІЧНИМИ ДАНИМИ**

Виконана оцінка ресурсів зволоженості теплоенергетичних ресурсів клімату і водних ресурсів Нижнього Подніпров'я України на основі метеорологічних даних з використанням рівняння водно-теплового балансу. Установлено, що норми кліматичного річного стоку припустимо розглядати як характеристику природних водних ресурсів території.

**Постановка проблеми.** Оцінка природних (непорушених господарською діяльністю) водних ресурсів являє собою одну з основних задач інженерної гідрології, тому що природний стік використовується як базис при моделюванні водогосподарських заходів і екологічного стану водозборів при науковому обґрунтуванні стратегії розвитку економіки України.

Останніми десятиріччями природний стік річок, оцінений за даними минулих років, розглядається як вихідна інформація при дослідженні впливу глобального потепління на стан водних ресурсів. Через те, що стік більшості річок трансформований водогосподарськими перетвореннями на водозборах, оцінювання природного стоку може бути виконане за даними метеорологічних спостережень, які до початку 80-х років минулого сторіччя не зазнавали суттєвих змін під впливом глобального потепління. Використання метеорологічної інформації для розрахунків стоку і побудова відповідних методик сприяє також більш ретельному вивченню механізму впливу клімату на водні ресурси території, яка досліджується. Метою дослідження, про яке йде мова, було отримання відомостей про природний стік річок Нижнього Подніпров'я на основі методу водно-теплового балансу.

**Аналіз останніх матеріалів досліджень і публікацій.** Річка Дніпро є основним джерелом питної води малих і великих міст. Основні кількісні характеристики водоспоживання у 1998 р. були такими: забір води – 10,75; використання – 8,50; безповоротне водоспоживання – 6,00; водовідведення – 5,15  $km^3$  [3]. Завдяки великим каналам вода з Дніпра перекидається на значні відстані, у тому числі за межі басейну. Серед найбільших каналів є Північно-Кримський, Каховський, Дніпро-Донбас, Дніпро-Кривий Ріг, Дніпро-Інгулець. Перекид стоку суттєво змінює водний режим не тільки

самого Дніпра, а всього Нижнього Подніпров'я. Наприклад, р. Інгулець – права притока Дніпра, є фактично складовою водно-господарського Криворізького комплексу. У річку скидаються стічні та шахтні води, що робить її непридатною навіть для зрошування. Тому дніпровська вода подається у р. Інгулець „антирічкою” завдяки роботі Снігурівської насосної станції.

Водогосподарські перетворення впливають і на лівобережні притоки. Так, через водозбір р. Орель проходить траса каналу Дніпро-Донбас. У річку Самару відводяться шахтні води Західного Донбасу.

Усі річки Нижнього Подніпров'я украй зарегульовані [9]. Суттєвою проблемою гідрологічних розрахунків є нестача даних спостережень. У своїй більшості ряди спостережень є статистично неоднорідними через вплив водогосподарської діяльності. Практично даних про природний стік не залишилося. А для Херсонських степів дані спостережень за стоком малих річок взагалі відсутні, внаслідок чого ізолінії норм річного стоку проведені пунктиром [11].

Для вирішення задачі оцінки природних поверхневих ресурсів Нижнього Подніпров'я автором використана модель „клімат-стік”, що розроблена та апробована для розрахунків природних водних ресурсів України у Одеському державному екологічному університеті під керівництвом д.г.н. Гопченка Є.Д. та д.г.н. Лободи Н.С. [5]

**Ціллю статті** є оцінювання природних водних ресурсів Нижнього Подніпров'я за метеорологічними даними та визначення впливу факторів підстильної поверхні для малих річок.

**Основні матеріали досліджень.** Основою розрахункової моделі “клімат-стік” є рівняння водно-теплового балансу водозбору у модифікації В.С. Мезенцева [8], де разом розглядаються рівняння водного і теплоенергетичного балансу земної поверхні, які містять у собі одну й ту ж саму складову – випаровування з водної поверхні.

При розгляді всього ґрунтового профілю від поверхні землі до водоупору рівняння водного балансу замкненого водозбору звичайно надають наступним способом

$$X + w_1 - w_2 + w_{Г1} - w_{Г2} = E + Y, \quad (1)$$

де  $X$  – сума атмосферних опадів за розрахунковий період часу;  $w_1 - w_2$  – зміна вологозапасів у розрахунковому шарі ґрунтів за розрахунковий проміжок часу;  $w_{Г1} - w_{Г2}$  – зміна запасів вологи в шарі ґрунту між рівнем ґрунтових вод і розрахунковим шаром ґрунту;  $E$  – випаровування з поверхні ґрунту;  $Y$  – сумарний стік, який включає в себе інформацію про поверхневий і ґрунтовий стік.

У випадку, коли розрахунковий шар дорівнює глибині залягання ґрунтових вод, або у випадку глибокого залягання ґрунтових вод (що характерно для степової та пустинної зон), рівняння (1) перетворюється на вид

$$X + w_1 - w_2 = E + Y. \quad (2)$$

Закон збереження енергії в процесі теплообміну між земною поверхнею та повітрям можна записати у вигляді

$$R^+ + P^+ + B_1 - B_2 = LE + P^- + I_N - LC \quad (3)$$

де  $R^+$  – додаткова складова радіаційного балансу: різниця між короткохвильовою (прямою і розсіяною) радіацією сонця, яка поглинута земною поверхнею, і ефективним випромінюванням в денні часи доби;  $P^+$  – енергія, яку отримує діяльна земна поверхня в результаті переносу повітряних мас (адвекції), – додатна складова турбулентного теплообміну;  $B_1 - B_2$  – зміна запасів тепла в діяльному шарі ґрунтів за розрахунковий проміжок в часу;  $LE$  – витрати тепла на сумарне випаровування;  $L$  – теплота випаровування;  $P^-$  – тепловіддача в атмосферу (нагрівання приземного повітря) – від’ємна складова турбулентного теплообміну;  $I_N$  – нічне випромінювання земної поверхні;  $LC$  – тепло, яке виділяється при конденсації водяних парів повітря на елементах земної поверхні і в ґрунті.

Приходні складові рівняння теплоенергетичного балансу, скупчені в лівій частині рівняння (1), визначають теплоенергетичні ресурси клімату  $E_m$  або “максимально можливе випаровування”. За своєю фізичною суттю  $E_m$  – це шар води, який міг би випаритися, якщо б на процес випаровування були затрачені усі додатні складові рівняння теплового балансу

$$E_m = \frac{R^+ + P^+ + B_1 - B_2}{L}, \quad (4)$$

Використовуючи випаровування з поверхні ґрунту як загальну складову для рівнянь водного (2) і теплового балансів і апроксимуючи його як результат співвідношення ресурсів тепла  $E_m$  і вологи ( $X + w_1 - w_2$ ), В.С. Мезенцев отримав наступне результуюче рівняння водно-теплового балансу

$$Y_K = X + w_1 - w_2 + E_m \left[ 1 + \left( \frac{X + w_1 - w_2}{E_m} \right)^{-n} \right]^{-\frac{1}{n}}, \quad (5)$$

де  $Y_K$  – сумарний стік з водозбору, розрахований за рівнянням водно-теплового балансу або так званий „кліматичний стік”;  $n$  – параметр, інтегруючий вплив фізико-географічних умов на процес випаровування і стоку. Згідно рекомендаціям В.С. Мезенцева для рівнинних територій  $n=3$ .

Розв’язуючи рівняння (2) відносно  $Y_K$  для багаторічного періоду, коли  $w_1 - w_2 = 0$ , отримаємо

$$\bar{Y}_K = \bar{X} - \bar{E}_m \left[ 1 + \left( \frac{\bar{X}}{\bar{E}_m} \right)^{-n} \right]^{-\frac{1}{n}}, \quad (6)$$

де  $\bar{Y}_K, \bar{X}, \bar{E}_m$  – середньобагаторічні величини (норми) річного стоку, опадів і тепло-енергетичного еквіваленту, які відносяться до точок, відповідних положенню метеорологічних станцій або до центрів тяжіння водозборів.

Для оцінювання середньобагаторічних величин річкового стоку за методом водно-теплового балансу були залучені дані по 98 метеорологічним станціям і постам Нижнього Подніпров’я, які охоплюють територію від правобережжя Південного Бугу до лівобережжя Дніпра в східному напрямку, включаючи притоку Дніпра річку Кінську, та від Дніпровського лиману з півдня в напрямку на північ до Кременчуцького водосховища, включаючи водозбори річок Інгулець, Інгул та лівобережжя річки Чорний Ташлик. Розрахунок норм річного стоку виконувався за рівнянням (6). Відомості про середньобагаторічні величини опадів узяті з „Справочников по климату СССР”, тобто використані матеріали минулих років, коли впливу глобального потепління на дані наземних метеорологічних станцій не відмічалось. Згідно багатьом дослідженням [12] відомості про опади, які наведені у вказаних довідниках, потребують введення додаткових поправок на випаровування з опадоміра. Уточнення середньомісячних сум опадів за багаторічний період здійснювалося за співвідношенням

$$\bar{X} = \bar{X}' + k_E \bar{X}_n \quad (7)$$

де  $\bar{X}$  – місячна норма опадів з урахуванням усіх систематичних помилок у показаннях опадоміра;  $\bar{X}'$  – місячна норма опадів, яка виправлена введенням поправок на вітрове видування і змочування;  $k_E$  – поправочний коефіцієнт, який враховує втрати на випаровування з опадомірного відра.

При оцінці теплоенергетичних ресурсів клімату за багаторічний період може бути використаний вираз (4), причому для річного періоду  $B_1 - B_2 = 0$ . Додатна складова турбулентного теплообміну за даними В.С.Мезенцева не перевищує десяти відсотків річного радіаційного балансу і її середньобагаторічна величина  $\overline{R^+}$  може бути розрахована за наступною емпіричною формулою [8]

$$\overline{R^+} = 6,8 - 0,082\overline{R_G}, \quad (8)$$

де  $\overline{R_G}$  – норма річного радіаційного балансу.

Дані про річну величину радіаційного балансу і її додатну складову за багаторічний період представлені в матеріалах спостережень актинометричних станцій. Але їх число (менше 20) обмежено і недостатньо для детального опису просторово-часового розподілу теплоенергетичних ресурсів клімату. Оскільки температурний режим України в значній мірі обумовлений надходженням сонячної радіації до земної поверхні, для масових розрахунків отримана [5] регіональна залежність величини  $\overline{E_m}$  від температурних характеристик літнього періоду, коли переважає антициклональна погода з малою хмарністю і слабкими вітрами.

$$\overline{E_m} = 13,3 \sum_V^{IX} \overline{T_M} - 307, \quad (9)$$

де  $\sum_V^{IX} \overline{T_M}$  – сума норм середньомісячних температур повітря за літній період (з травня по вересень, включно).

Результатом досліджень є просторово-часові узагальнення характеристик ресурсів зволоженості  $\overline{X}$  (мм) і теплоенергетичних ресурсів клімату  $\overline{E_m}$  (мм) території Нижнього Подніпров'я і водозборів, що з ним межують, які виконані шляхом побудови карт ізоліній за допомогою методу сплайн-інтерполяції. На характер розподілу ізоліній річних норм опадів і максимально можливого випаровування великий вплив чинять континентальне повітря помірних широт та континентальне тропічне повітря, які визначають поступове зниження кількості опадів з півночі на південь (рис.1) та підвищення температури повітря в південній частині Нижнього Подніпров'я. Для території, що розглядається, характерний помірно теплий клімат з недостатнім або місцями навіть скудним зволоженням.

Максимальна кількість річних опадів спостерігається на вододілі річки Псел та на Кременчуцькому водосховищі (600 мм). Відбувається загальне зменшення опадів з північно-західного до південно-східного напрямку, а в степу – к півдню. Норма річних опадів рівномірно зменшується від 600 до 450 мм (рис.1).

Зміна теплоенергетичних ресурсів клімату  $\bar{E}_m$  на території, що розглядається, складає 150 мм (від 850 мм до 1000 мм). Відбувається природне збільшення випаровування в напрямку з північного заходу на південний схід і на південь. В межах Нижнього Дніпра (Дніпровський, Бузький лимани, гирло Дніпра) спостерігається також підвищення максимально можливого випаровування (до 1000 мм). Розподіл ізоліній в південній частині карти демонструє ще характерну їх крутизну. Ізолінії згибаються, наближаючись в південно-західній частині до Чорного моря. Це обумовлено надходженням в цей район повітряних течій, які мають назву „суховії”, підвищенням температури повітря та наявністю великих відкритих площин водної поверхні (рис.2). Мінімальні значення (875 мм) відмічаються на півдні Кременчуцького водосховища та в гирлі річки Тясмин, що обумовлено значним зниженням температур та зміною характеру рельєфу від Причорноморської низовини на півдні території, що розглядається, до Придніпровської височини на півночі.

На базі рівняння водно-теплогового балансу були отримані норми кліматичного стоку по метеорологічних станціях, які були узагальнені у межах розглядуваної території у вигляді карт ізоліній (рис.3).

Норма кліматичного стоку здебільшого відображає розподіл опадів. Слід зазначити, що норма кліматичного стоку може бути ототожненою з нормою природного стоку з водозборів, на яких вплив факторів підстильної поверхні незначний. Як правило, це водозбори з площею більше другої критичної [2], тобто з площею при якій ґрунтове живлення річки набуває сталості. У роботах Гопченка Є.Д. та Лободи Н.С. [5] показано, що при  $F \geq F_{2kp}$  норма кліматичного стоку дорівнює нормі природного зонального стоку.

На більшості малих та середніх водозборів, особливо у зоні недостатнього зволоження, норма кліматичного річного стоку суттєво відрізняється від природного. Відхилення тут можуть досягати 30% і більше. З метою урахування впливу факторів підстильної поверхні були встановлені перехідні коефіцієнти до норм кліматичного стоку  $\bar{Y}_K$ , визначених за картою ізоліній

$$k = \frac{\bar{Y}_\Pi}{\bar{Y}_K} , \quad (10)$$

де  $k$  – перехідні коефіцієнти;  $\bar{Y}_K$  – норми кліматичного стоку з водозбору, які визначаються за картою ізоліній;  $\bar{Y}_H$  – норми природного стоку (табл.1).

У результаті досліджень за характером залежності  $k$  від факторів підстильної поверхні степова зона була розділена на дві частини. Для північної частини головну роль у формуванні стоку відіграє нерівномірність розподілу снігового покриву. Сніговий покрив, запас води у якому визначає об'єм стоку за весняну повінь і головну частину стоку за рік у цілому, розподіляється за площею водозбору нерівномірно. Під впливом вітру відбувається перерозподіл снігового покриву в річковій мережі з наступною акумуляцією його в ярах та балках, що призводить до зменшення норм стоку із збільшенням площі водозбору. Фактично, діюча площа водозбору, на якій формується основний об'єм стоку повені у замикальному створі, є значно меншою загальної площі водозбору. Як наслідок, річні норми природного стоку малих водозборів перевищують зональний (кліматичний) стік (рис.4)

$$k = 2,4 - 0,7[\lg(F + 1) - 1], \text{ при } F < 1000 \text{ км}^2; \quad (11)$$

$$k = 1 \text{ при } F \geq 1000 \text{ км}^2, \quad (12)$$

У підзоні південного степу, де стійкий сніговий покрив утворюється дуже рідко і тому річковий стік формується переважно дощовими опадами, серед факторів підстильної поверхні значне місце займають втрати на затримку поверхневих вод у зниженнях рельєфу. Непрямим показником втрат стоку на поверхневу затримку може бути ухил водозбору. Оскільки дані про середньозважені ухили в довідковій літературі є не по усіх водозборах, для практичного застосування отримано залежність коефіцієнту  $k$  від середньої висоти водозбору, значення якої певним чином пов'язані з ухилом. Перехідні коефіцієнти зменшуються від 1 до 0 в міру зниження висоти місцевості, але лише в межах висот менших 280 м (рис.5)

$$k = 1 - 0,003(280 - H_{cp}), \text{ при } H_{cp} < 280 \text{ м}; \quad (13)$$

$$k = 1 \text{ при } H_{cp} \geq 280 \text{ м}, \quad (14)$$

де  $H_{cp}$  – середня висота водозбору.

Межа розділу між областями додатних (11,12) і від'ємних (13,14) виправлень відповідає межі зим із стійким сніговим покривом, який спостерігається менш, ніж у 50% випадків.

Виконані нами дослідження показали, що ці залежності добре узгоджуються з даними, які ми отримали для території Нижнього Подніпров'я. Для водозборів, які відносяться до Сухого Степу, де у формуванні річного стоку переважають втрати поверхневих вод, перехідні коефіцієнти від норм кліматичного стоку до природного пов'язуються з середньою висотою водозбору (р. Базавлук – с. Катерино-Наталівка) (рис.5). Ті ж річки, які знаходяться у зоні Північного Степу, характеризуються коефіцієнтами  $k$ , які вище 1, або наближуються до неї при площах водозборів  $F = 1000 \text{ км}^2$  (друга критична площа) (рис.4). Однак, Нижнє Подніпров'я має і свої особливості, оскільки на цій території розвинутий карст, який варто віднести до Нижнього Придніпровського карстового району Придніпровсько-Азовської карстової області [7]. Коефіцієнти переходу  $k$  для річок Інгулець та Конка відхиляються від наведених залежностей, що також може бути пов'язане з впливом карсту [6]. У роботі [7] відмічається, що інтенсифікація карстових процесів у межах регіону в останні роки посилилася через гірські виробки на території Криворіжжя.

**Висновки і перспективи подальших досліджень.** Розроблена карта ізолій норм річного кліматичного стоку є дуже важливою для Нижнього Подніпров'я, оскільки даних про природний стік у цій місцевості практично немає. Внесок факторів підстильної поверхні відповідає закономірностям встановленим для північно-західного Причорномор'я, однак на закарстованих водозборах переважає перевищення природного стоку над кліматичним. Роль карсту враховується за допомогою коефіцієнтів порівняння природного та кліматичного стоку. Отримані результати плануються використати при моделюванні річного стоку в умовах глобального потепління та водогосподарських перетворень.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Атлас природных условий и естественных ресурсов УССР. М.: Главное управление по геодезии и картографии при Совете Министров СССР, отдел географии, - 1978. - 120с.
2. Бефани А.Н. Пути генетического определения нормы стока. - Научный ежегодник ОГУ. - Одесса. - 1957. - 125 с.
3. Вишневецький В.І. Річки і водойми України. Стан і використання. - Київ.: Віпол, 2000. - 375с.



4. Гопченко Е.Д., Лобода Н.С. Оценка возможных изменений водных ресурсов Украины в условиях глобального потепления // Гидробиологический журнал. - Киев: Институт гидробиологии НАН Украины. - Т.36, №3. - 2000. - С. 67-78.
5. Гопченко Е.Д., Лобода Н.С. Оцінювання природних водних ресурсів України за методом водно-теплогового балансу // Наук. Праці УкрНДГМІ. -2001. - Вип.249. - С.106-120.
6. Казаков В.Л., Шипунова В.О. Нові відомості про підземний карст Північного Причорномор'я // Україна: географічні проблеми сталого розвитку. Зб. наук. праць. - К:ВГЛ Обрій, 2004. - Т.3. - с.225-227.
7. Калініченко О.О., Шипунова В.О. Активізація карстових процесів на Криворіжжі як результат посилення техногенного навантаження на ландшафт // Україна: географічні проблеми сталого розвитку. Зб. наук. праць. - К:ВГЛ Обрій, 2004. - Т.3. - с.162-163.
8. Мезенцев В.С. Режимы влагообеспеченности и условия гидромелиораций степного края. - М. Колос, 1974. - 240 с.
9. Паламарчук М.М., Закорчевна Н.Б. Водний фонд України: Довідковий посібник. - К.: Ніка-Центр, 2001. - 392с.
10. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. - Л.: Гидрометеиздат,- 1984. - 447с.
11. Справочник по водным ресурсам // Под ред. Б.И.Стрельца. - К.: Урожай,1987. - 304 с.
12. Указания для управления гидрометеорологической службы по вычислению поправок к измеренным величинам атмосферных осадков. - Л.: Гидрометеиздат,1969. - 54с.
13. Loboda N.S. The assessment of present and future Ukrainian water resources on meteorological evidence // Proceedings of The Second International Conference on Climate and Water. - vol.3. - Espoo, Finland: Edita Ltd, Hesinki. - 1998. - p.1486-1494.

#### **Evaluation of natural water resources by using of meteorological data for down part of Dnieper's catchment**

**E.D. Gopchenko, N.S. Loboda, I.O. Shakhman**

**Kherson hydrometeorological technical school of Odessa state environmental university**

Valuation of humidification, heat and water resources of down part of Dnieper's catchment is executed on the basis of meteorological data by means of the water-thermal balance. It is established, that the norms climatic annual flow is allowable to consider, as the characteristic of natural water resources of studying territory.

Оценка естественных водных ресурсов Нижнего Приднепровья по метеорологическим данным

Е.Д. Гопченко, Н.С. Лобода, И.А. Шахман

Херсонский гидрометеорологический техникум Одесского государственного экологического университета

Выполнена оценка ресурсов увлажнённости теплоэнергетических ресурсов климата и водных ресурсов Нижнего Приднепровья Украины на основе метеорологических данных с использованием уравнения водно-теплового баланса. Установлено, что нормы климатического годового стока допустимо рассматривать как характеристику естественных водных ресурсов территории.

**Таблиця 1. Вихідні данні**

№	Назва посту	$F$ , км <sup>2</sup>	$lg(F + 1)$	$H$ , м	$\bar{Y}_П$ , мм	$\bar{Y}_K$ , мм	$K = \frac{\bar{Y}_П}{\bar{Y}_K}$
1	р. Кодима – с. Катеринка	2390	3,4	170	19	35	0,6
2	р. Чорний Ташлик – с. Тарасівка	2230	3,4	200	47	40	1,2
3	р. Мертвовід – с. Крива Пустош	252	2,4	190	49	31	1,6
4	р. Інгул – с. Ново- Горожено	6670	3,8	150	41	34	1,2
5	р. Інгул – с. Седневка	4770	3,7	160	38	36	1,1
6	р. Інгул – м. Кіровоград	840	2,9	170	52	38	1,4
7	р. Інгулець – с. Олександро- Степанівка	1400	3,2	160	52	36	1,4
8	р. Інгулець – с. Іскрівка	4410	3,6	370	71	33	2,2
9	р. Інгулець – м. Кривий Ріг	8600	3,9	140	64	29	2,2
10	р. Кінська – с. Пологи	353	2,5	190	56	26	2,2
11	р. Базавлук – с. Катерино-Наталівка	1050	3,0	120	22	29	0,8
12	р. Тясмин – с. Велика Яблунівка	1780	3,2	170	66	47	1,4
13	р. Вільшанка – с. Млєєв	749	2,9	180	69	55	1,2

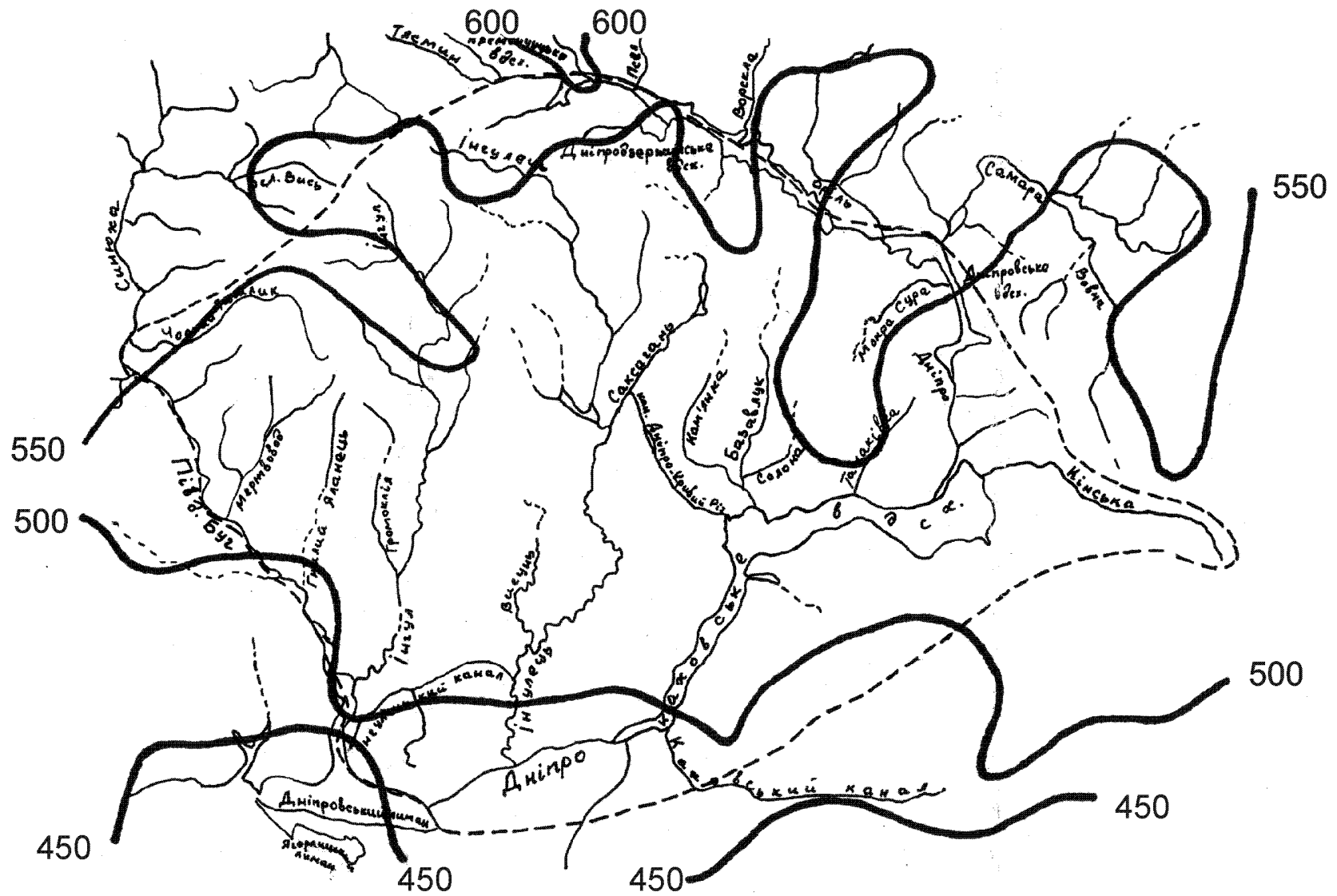


Рис. 1. Норми річних опадів (мм)

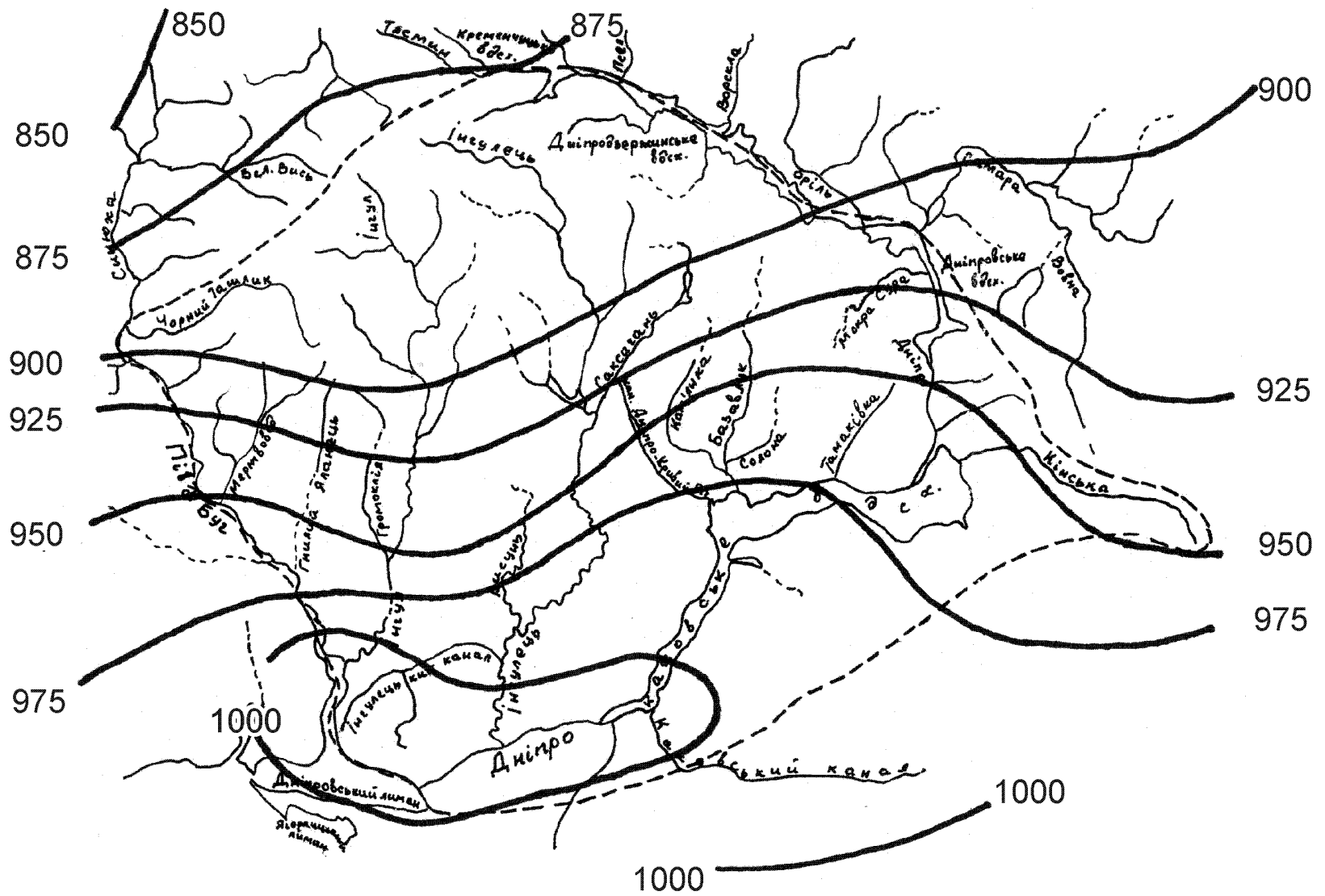


Рис. 2. Норми річного максимального можливого випаровування (мм)

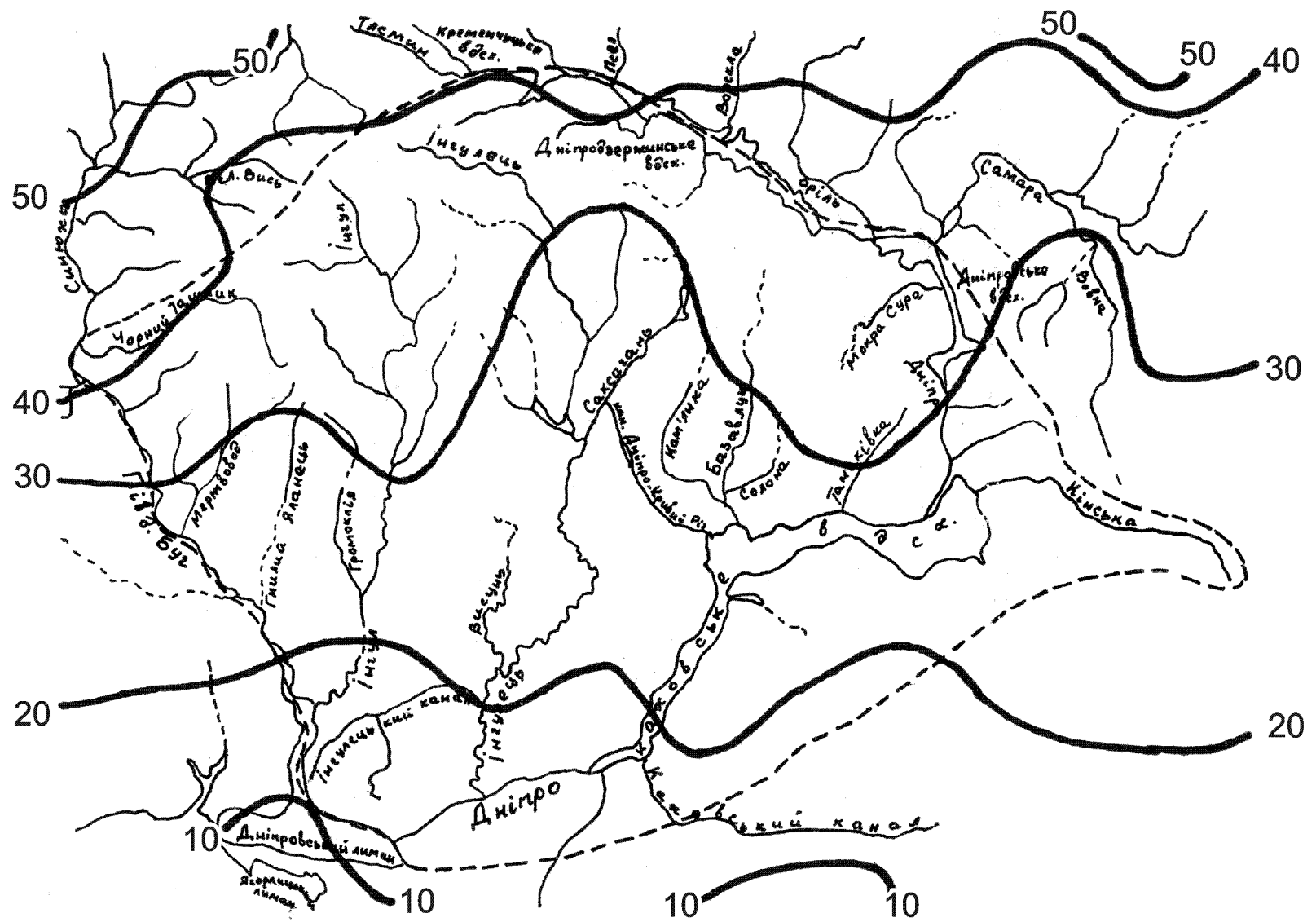


Рис. 3. Норми річного кліматичного стоку (мм)

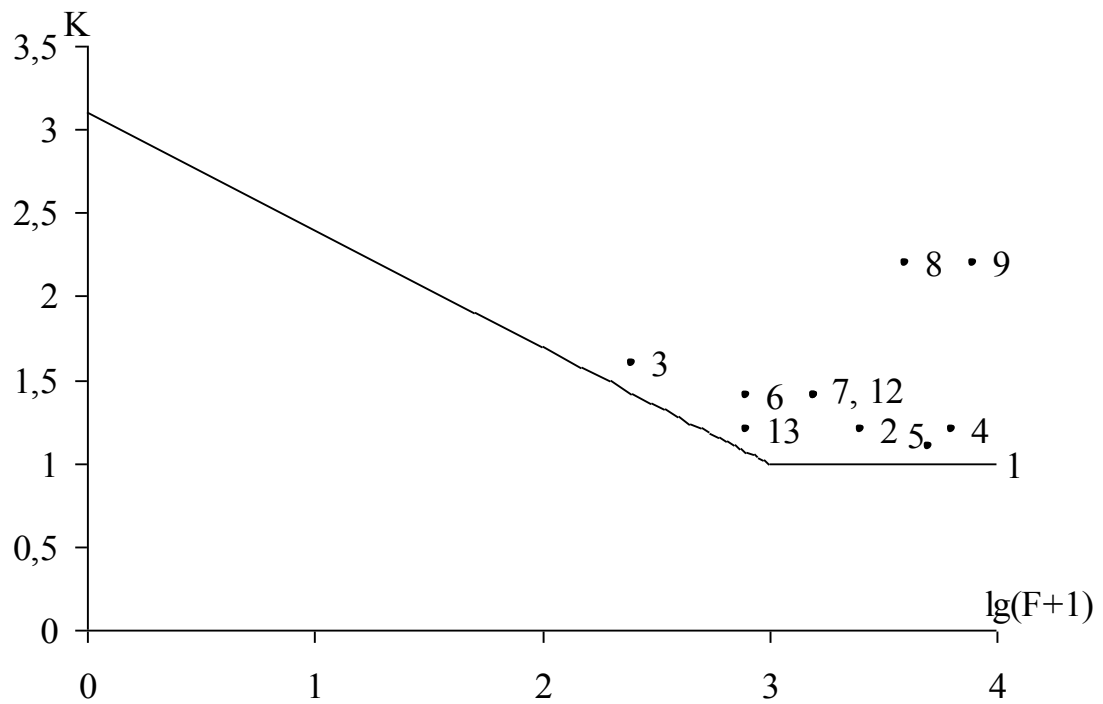


Рис. 4. - Зв'язок перехідних коефіцієнтів від норм кліматичного стоку до природного з площі водозабору для Північного степу  
 1 – графік залежності  $K = f(\lg(F + 1))$  [5]  
 • – дані для Нижнього Подніпров'я

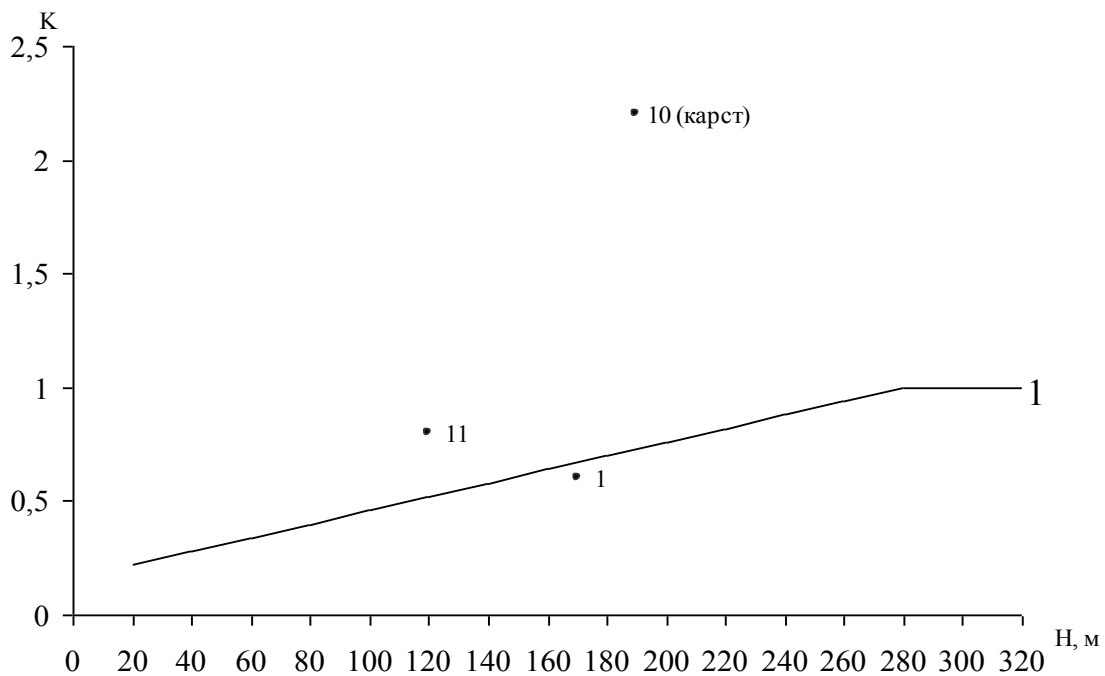


Рис. 5. - Зв'язок перехідних коефіцієнтів від норми кліматичного стоку до природного з висотою місцевості для Сухого Степу Південної частини  
 1 – графік залежності  $K = f(H)$  [5]  
 • – дані для Нижнього Подніпров'я